

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗЧИННОСТІ ЗЕРЕН ТВЕРДОГО СПЛАВУ В АРМОВАНІЙ ЗОНІ РОЗПЛАВУ ЗРАЗКІВ ПІД ДІЄЮ ВІБРАЦІЇ

Ю.Д.Петрина, Л.Д.Пітулей, Д.І.Феденчук

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел.(03422) 43024

e-mail: public@nung.edu.ua

Исследованы технологические особенности получения литого композиционного материала на стальной основе с равномерным распределением армируемой фазы в виде карбида вольфрама виброармированием. Установлено явление дифференциального преобразования структуры составных композитов, результатом которого есть изменение физико-механических показателей. Показано, что основным фактором, который лимитирует скорость тепломассообменных процессов при виброармировании, есть величина поверхности межфазового взаимодействия расплава и армируемых частиц. Аргументировано, что виброармирование расплава можно рассматривать как перспективный высокоэффективный метод получения литых композиционных материалов для породоразрушающего шарошечного инструмента.

Technological particular features of getting cast compound materials on the steel bases with even allocation of the armed phase in the form of tungsten carbide by vibroreinforcing. The phenomenon of differentiated transformation has been determined in respect to the structure of composite components; the results of this phenomenon appear to be the changes of physic-mechanical indicators. It has been shown, that the main factor that limits the speed of heat-mass-exchange processes at vibroreinforcing is the size of surface of interface component interaction and reinforcing particles. It has been grounded that vibroreinforcing is possible to view as a promising high efficiency method of obtaining cast composite materials for rock crushing instrument.

Аналіз результатів проведених досліджень [1] засвідчив, що під дією вібрації в армованій зоні зразків не відбувається утворення нових складових в структурі порівняно із зразками, отриманими відцентровим литвом.

Під дією вібраційного поля відбувається взаємне змішування частинок твердого сплаву з рідкою сталлю, що призводить до їх часткового розчинення, внаслідок чого змінюються їх розміри.

Ступінь розчинення частинок твердого сплаву впливає на якість армування, оскільки від величини розчинення частинок твердого сплаву залежить мікроструктура металозв'язки армованої зони, яка впливає на стійкість озброєння. Більше розчинення зерен твердого сплаву призводить до більшого легування вольфрамом металозв'язки, а відповідно до підвищення крихкості, недостатнє розчинення – до зменшення міцності закріплення частинок твердого сплаву у металозв'язці. Як наслідок при композиційному віброармуванні відбувається тільки зміна фазових складових в об'ємі армованої зони.

Для кількісного та якісного аналізу розчинення частинок твердого сплаву в рідкій сталі під дією вібрації доцільно вивчити комплексний вплив вібрації на структуру металозв'язки.

Процес розчинення реліту в розплаві включає стадії нагрівання, плавлення та власне розчинення. Процес розчинення завершується на стадії дифузійного переходу легуючих елементів W і С через зовнішню поверхню концентраційного приграничного шару, який утворюється на поверхні плаваючих частинок реліту. Продифундовані через концентраційний приграничний шар системи атоми легуючих

елементів розподіляється в об'ємі віброуючого розплаву і вступають в хімічну взаємодію з його елементами, змінюючи структуру і властивості розплаву.

Кінетика переходу легуючих елементів із зернистого литого карбиду вольфраму в розплав лімітується швидкістю тепло- та масообмінних процесів. При накладанні вібрації на армований об'єм розплаву в ньому відбувається конвективний теплообмін. Інтенсивність теплового потоку в одиницю часу на поверхні арматора, який взаємодіє з розплавом, визначається законом Ньютона-Ріхмана

$$q = \alpha_1 (T_p - T_a) F, \quad (1)$$

де: α_1 – коефіцієнт тепловіддачі; T_p і T_a – відповідно температура розплаву і арматора; F – площа поверхні контакту частинок литого карбиду вольфраму з розплавом.

Кількість твердої фази, яка розчиняється в розплаві сталі в одиницю часу, визначаються законом Шукарьова [2]

$$\frac{dm_a}{dt} = \beta_1 (c_{is} - c_{il}) F, \quad (2)$$

де: β_1 – коефіцієнт масовіддачі; c_{is} – порційна густина і-того компонента в реліті; c_{il} – порційна густина і-того компонента у розплаві.

Як наслідок з вищенаведених рівнянь (1) та (2) основним фактором, що лімітує швидкість тепло- та масообмінних процесів при віброармуванні зубка шарошки бурового долота, є величина поверхні міжфазової взаємодії розплаву і реліту. Як видно з рівнянь (1-2), застосування вібрації армованого розплаву сприяє інтенсифі-

кації тепло- та масообмінних процесів. Розвинутість поверхні контакту розплаву з релітом визначається специфікою міжфазової взаємодії і є одним з головних факторів, який впливає на кінетику переходу легуючих елементів у розплав.

Як показали результати досліджень [2], віброармування забезпечує об'ємну міжфазову взаємодію між легуючими елементами W і C та розплавом долотної сталі. При цьому досягається максимально можлива для частинок даного розміру поверхня міжфазової дії, і процеси нагрівання, плавлення і розчинення реліту відбуваються в умовах інтенсивної гідравлічної і теплової дії розплаву. Об'ємний характер міжфазової взаємодії розплаву з частинками реліту реалізує автотельний режим, при якому коефіцієнт швидкості розчинення (масовіддачі) не залежить від розміру частинок, що характерно для умов зрівноваженого стану твердої фази [3]. В умовах об'ємного характеру міжфазової взаємодії найбільша швидкість розчинення арматора досягається в початковий момент армування, коли поверхня реакційної взаємодії максимальна.

Кількість частинок арматора, які розчиняються в розплаві сталі, визначимо, проінтегрувавши рівняння (2)

$$\frac{dm_a}{dt} = \beta_l (c_{is} - c_{il}) F, \\ m_a = \beta_l (c_{is} - c_{il}) Ft + c_m, \quad (3)$$

де c_m – постійна інтегрування, яка визначається з початкових умов.

При розчиненні реліту у розплаві початковими умовами є

$$\text{при } t_0 = 0 \quad m_{a0} = 0,$$

де m_{a0} – маса розчиненого реліту в початковий момент часу. З врахуванням початкових умов рівняння (3) матиме вигляд

$$m_a = \beta_l (C_{is} - C_{ih}) Ft. \quad (4)$$

Реалізація об'ємного характеру міжфазової взаємодії забезпечує високий рівень насичення легуючими елементами розплаву долотної сталі і дає змогу створити високоефективні процеси армування у формах невеликої металоємкості з короткочасним (6–8 с) циклом заливання [3].

За даними досліджень [4] розчинення 18-20% маси арматора достатньо для оптимального легування металозв'язки армованого об'єму зубка.

Рівняння (4) і необхідний для легування розплаву сталі відсоток маси карбіду вольфраму дають змогу визначити час перебування реліту в розплаві сталі при температурі його плавлення.

Одночасно вібрація армованого розплаву впливає на процес просочування розплаву долотної сталі через тугоплавкий каркас.

Якщо процес просочування і подальшого охолодження відбувається з великою швидкістю, яка дозволяє зменшити час контакту твердої і рідкої фаз до значення, меншого за період ретардації (запізнення дифузійних процесів), то

такий режим просочування забезпечує отримання композиційних матеріалів без перехідних шарів на межі розділу фаз. Перехід системи у зрівноважений стан проходить не миттєво, а на протязі певного проміжку часу. Це запізнення атомної системи характеризується періодом ретардації, а зворотний перехід у початкове положення – часом релаксації. Під часом релаксації розуміють час, необхідний для послаблення викликаного збурення до певного значення після усунення зовнішньої дії.

Величина періоду ретардації t_p визначається рівнянням [6]

$$t_p = t_0 c_{exp} \left[-\frac{(Q_T + Q_p)}{2RT} \right], \quad (5)$$

де: t_0 – постійна, яка має розмірність часу; C – постійна, яка враховує пік між фазової енергії; Q_T і Q_p – енергії активації дифузії елементів твердої і рідкої фаз; R – універсальна газова постійна; T – абсолютна температура.

При просочуванні розплавленим металом, змочуючи тугоплавкий каркас, впливає на нього адсорбційно. Цей вплив може призвести до самовільного диспергування карбіду вольфраму WC, навіть якщо обидві фази взаємно нерозчинні. Морфологія цих частинок дає підстави зробити висновок, що при просочуванні відбувається не істинне розчинення вольфраму, а його диспергування на частинки колоїдних розмірів в результаті зменшення вільної поверхневої енергії під дією розплаву, який є поверхнево-активним і тому сприяє подрібненню зерен вольфраму.

Час просочування пористого каркасу суттєво залежить від крайового кута змочування, в'язкості розплаву долотної сталі і його густини, розміру пор і частоти вібрації розплаву. Якщо швидкість просочування незначна, то в реакційно здатній системі можливе заростання пор внаслідок утворення нової фази у міжпоровому просторі. Це може призводити до повного перекриття пор і зменшення міжфазової площі взаємодії розплаву сталі із твердими частинками зміцнюючої фази, неможливості поступлення нових порцій розплаву в капіляри. Як наслідок інтенсивність просочування розплаву зменшується, або просочування припиняється повністю. Але вібрація армованого розплаву сталі створює додатковий вібраційний тиск, який разом із капілярним тиском сприяє рухові розплаву в капілярі [7].

В результаті взаємодії рідкої і твердої фаз каркасна структура псевдосплавів може переходити у матричну. Це пов'язано з тим, що ділянки контакту між частинками тугоплавкої фази розчиняються швидше решти об'єму. Після їх повного розчинення частинки карбіду вольфраму опиняються ізольованими у легкоплавкій фазі.

У тих випадках, коли міцність псевдосплаву забезпечується тугоплавким каркасом, така трансформація структури недопустима.

У цьому випадку процес просочування можливо провести під тиском достатньо швидко і не допустити утворення небажаних фаз на межах розділу при заповненні пор. Значно складніше домогтися швидкого охолодження розплаву сталі, щоб попередити проходження дифузійних та хімічних процесів.

Як показано в роботі [6], час, необхідний для затвердіння розплавленого матричного металу, який знаходиться у проміжках між арміторами, можна визначити за формулою

$$t = \frac{\varphi_m \pi d_a^2 \rho_l c_p (T_3 - T_{nl})}{4(T_{nl} - T_k)} + \frac{n \pi \varphi_m d_a^2 \rho_l \lambda_{nl}}{4(T_{nl} - T_k) \alpha_T},$$

де: φ_m – масова частка матричного матеріалу у композиційному матеріалі; d_a – діаметр армітора; ρ_l і c_p – густина і теплоємність розплаву матриці; T_3 , T_{nl} , T_k – відповідно температура заливання, плавлення матриці і кімнатна; λ_{nl} – теплота плавлення матриці; α_T – коефіцієнт тепловіддачі від поверхні ливарної форми у навколишнє середовище; n – частка незастигнутого після заливання матричного металу. У цьому рівнянні перший доданок дає час охолодження рідкої фази від температури заливання до температури плавлення, а другий доданок – час перебування розплаву у перехідному твердодіючому стані.

Під час затвердіння розплавленого матричного металу можуть інтенсивно утворюватись нові фази, які будуть викликати зменшення міцності арміторів і погіршення механічних властивостей композиційного матеріалу загалом. Для зменшення часу затвердіння розплаву сталі слід проводити його інтенсивне охолодження від температури просочування до температур на декілька десятків градусів менших від температури плавлення легкоплавлявального компонента. Але подальше охолодження повинно відбуватись повільно з метою уникнення великих термічних напружень, здатних викликати появу тріщин у коомпозиційному матеріалі.

Одним із методів зменшення шкідливого впливу взаємодії рідкої і твердої фаз є наближення взаємодіючої системи до термодинамічно стабільної шляхом направлено легування.

Збільшення поверхні міжфазової взаємодії розплаву і зернистої твердої фази сприяє підвищенню фізико-механічних характеристик композиційного матеріалу за рахунок покриття поверхні арміторів колоїдними частинками, диспергованими у розплав.

При наплавленні і сплавленні таких частинок іноді відбувається сегрегація тугоплавкої домішки по висоті [8], що призводить до неоднорідності макроструктури і погіршення властивостей композитів.

Ефект поверхневої сегрегації, який полягає у збільшенні концентрації одного з компонентів сплаву на міжфазовій межі, що спонукає до модифікації фізико-хімічних властивостей поверхні, відіграє важливу роль у формуванні механічних властивостей (міцності, пластичності, інші) композиційних матеріалів.

У поданій статті проаналізовані умови формування структури і визначені критерії формування структури, дотримання яких забезпечує рівномірний розподіл тугоплавкої складової композиту. Оскільки при армуванні сплавів тугоплавними матеріалами виникають значні градієнти температур на поверхні арміторів і по висоті армованої зони, у розплаві повинен відбуватися конвективний рух. Тугоплавкі частинки, які знаходяться у матричному розплаві, будуть задіяні у конвективному русі у тому випадку, коли сила дії на частинку в'язкої рідини буде перевищувати сили гравітації. Для частинок сферичної форми маємо

$$6\pi\mu r v_k > \frac{4}{3}\pi r^3 g(\rho_l - \rho_r),$$

де: r , ρ_r – відповідно радіус і густина частинки; μ – динамічна в'язкість розплаву; v_k – швидкість термокапілярної конвенкції; ρ_l – густина розплаву.

Отже, всі умови формування структури металозв'язки забезпечуються вібрацією армованого розплаву.

Література

1. Петрина Ю.Д., Пітулей Л.Д., Феденчук Д.І. Вплив вібрації армованого розплаву на кристалічну структуру матричної долотної сталі // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Нафтопромислове обладнання. – Івано-Франківськ, 2005. – Вип. 16. – С.14–19.
2. Аксельруд Г.А., Молчанов А.Д. Растворение твердых веществ. – М.: Химия, 1977. – 268 с.
3. Бугай Ю.П., Пітулей Л.Д., Феденчук Д.І. Математична модель седиментаційно-вібраційної рівноваги арміторів композиційного зубка шарошкового долота // Методи та прилади контролю якості. – Івано-Франківськ: Факел, 2000. – № 6. – С. 100–102.
4. Бубликов В.Б. Межфазовое взаимодействие при внутриформенном модифицировании чугуна. // Процессы литья. – 1997. – №3. – С.39.
5. Бугай Ю.Н. Разработка научно-прикладных основ повышения долговечности вооружения породоразрушающего бурового инструмента, оснащенного локальными композиционными материалами на стальной металлосвязке: Дисс. ... докт. техн. наук. – Ивано-Франковск, 1985. – 480с.
6. Затуловский С.С. Литые композиционные материалы. – Киев: Техника. 1990. – 240 с.
7. Пітулей Л.Д. Інтенсифікація процесу ущільнення в перехідних шарах армованого об'єму за допомогою вібрації // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Нафтопромислове обладнання. – Івано-Франківськ, 2005. – В. 15. – С. 13–17.
8. Терехина Т.А., Пирогов С.Я., Соколов В.Ф. и др. Взаимодействие некоторых тугоплавких соединений с $N_i - C_r - S_i$ в расплаве // Порошковая металлургия. – 1980. – № 8. – С. 53–57.